

基于 Labview 的分振幅激光偏振动态检测研究

李宁馨, 秦朝朝, 于可新

(河南师范大学物理与材料科学学院, 河南 新乡 453007)

摘要: 基于分振幅法激光偏振态检测原理, 设计了一个新的激光偏振态动态检测系统。使入射激光进入三组能对光束偏振方向进行改变的光路: 偏振分束镜, 半波片与偏振分束镜, 偏振波片与偏振分束镜。探测出射光束的光强功率值, 在 Labview 自定义坐标系中展示待测激光偏振态。检测结果表明线偏振光、圆偏振光、椭圆偏振光的偏振态分别为纺锤形、圆形、椭圆形; 随着入射激光偏振态的改变, 检测结果会发生动态变化。

关键词: 激光物理; 偏振态检测; 分振幅; 动态检测; Labview

中图分类号: 0437;0561

文献标识码: A

Division-of-amplitude laser polarization dynamic detection based on Labview

LI Ningxin, QIN Chaochao, YU Kexin

(College of Physics and Materials Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Based on the principle of division-of-amplitude laser polarization state detection, a new dynamic detection system for laser polarization is designed. The incident laser is made into three light paths which can change the beam polarized direction, polarized beam splitter, half-wave plate and polarized beam splitter, polarized wave plate and polarized beam splitter. The light intensity power value of outgoing beam is detected. Polarization state of the laser to be measured is shown in Labview custom coordinate system. The measurement results show that the polarized states of linear polarized light, circular polarized light and elliptical polarized light are spindle-shaped, circular, elliptical. With the change of incident laser polarization state, the detection results will change dynamically.

Key words: laser physics; polarization detection; division-of-amplitude; dynamic detection; labview

1 引言

光波振动方向相对于传播方向的不对称性称为偏振,偏振光可分为线偏振光、圆偏振光、椭圆偏振光与部分偏振光^[1]。其中圆偏振光是椭圆偏振光的特例,部分偏振光是若干振动方向不同的线偏振光的集合。偏振作为光波的特性之一,尤其作为横波区别于纵波的最显著特征,在光的波动性研究中有重要作用。除此之外,偏振在光学、地震学、无线电学、微波学、激光、光纤通信、无线通信、雷达等领域与应用科技研究中都是重要的参数^[2~4]。

自 1852 年英国数学家 Stokes^[5]提出用 4 个矢量来描述光波的强度与偏振状态后,通过 MULLER 矩阵可实现对所有偏振光偏振状态的表示^[6]。许多科学工作者都依据上述基础对偏振光状态进行了检测与表示。偏振光检测的方法可分为两类:1) 转动调制法。通过连续转动偏振波片与光学波片,依次获得与入射待测偏振光成不同角度振动的多个出射光束,由此进行检测^[7~9]。转动调制法有人工转动调制与机械转动调制。2) 无转动调制法。与第一类方法正好相反,无需连续的转动调制,通过多种光学元件的组合,利用分振幅法(即光入射到透明介质表面,能一部分发生反射,另一部分发生透射的方法)将单一光束分成多束光束,可以在同一时刻获得与入射待测偏振光成不同角度振动的多个出射光束,由此进行检测。无转动调制法检测更为便捷,利用偏振分光棱镜、 $\lambda/2$ 波片、偏振波片,可以实现多个不同振动角度出射光束的同时测量,还可实现动态测量,当入射待测激光偏振状态发生瞬时改变时,能即时测量出新的激光偏振态^[10]。随着研究的深入,开发出许多新的检测方法,如激光制导光偏振态检测方法、光弹调制偏振态检测方法等^[11, 12]。

本文研究了如何利用多种光学元件组合测量待测光束偏振态,通过选择合适的偏振分光棱镜、 $\lambda/2$ 波片、偏振波片,组成三组内部两角度互相垂直的出射光束组合(0° 与 90° 、 30° 与 120° 、 45° 与 135°),以实现动态测量。

基金项目: Supported by National Natural Science Foundation of China (国家自然科学基金, U1404112),

Advanced Technology Research Program of Henan Province (河南省科技攻关, 182102210369)

作者简介: 李宁馨(1997-), 女, 河南人, 主要从事偏振探测方面的研究。Email: NingXin-Li@hotmail.com

导师简介: 秦朝朝(1984-), 河南人, 博士, 讲师, 主要从事超快动力学方面的研究。Email: qinch@hotmail.com

2 工作原理

由偏振的相关概念可知，若光束的电矢量振动方向始终位于固定平面内的固定方向时，该束光为线偏振光；若光束的电矢量在与其传播方向的平面内，振动方向末端轨迹为一椭圆形（圆形）时，该束光为椭圆偏振光（圆偏振光）；若光束的电矢量振动方向与时间无任何对应关系，该束光为非偏振光。在 Cartesian 坐标下，不同偏振光在经过检偏器后， o 光与 e 光的振幅投影不同，若 o 光与 e 光振幅出现极大值与极小值，则该束偏振光为线偏振光；若 o 光与 e 光振幅相等（线偏振光与检偏器夹角为 45° 情况除外），则该束偏振光为圆偏振光；若 o 光与 e 光振幅为任意值（平方和为入射总光强值），则该束偏振光为椭圆偏振光。因此，常依据此原理进行激光偏振态的检测。不同检偏器与入射偏振光间存在相应角度差值，检测一束入射激光在经过不同角度检偏器后的光强值，将其光强值信号线性地转化为电信号，对应于不同偏振光电矢量振动轨迹，可检测出入射激光的偏振态。

传统的光束偏振态检测常采用转动测量法，通过连续的转动调节来获得入射待测光束与检偏器成不同角度差值时的光强值信号，将每次转动测量获得的信号综合起来完成检测。此处采用分振幅法进行激光偏振态检测，原理图如图 1 所示，在每个探测器前放置了改变光束振动方向的起偏器，在同一时刻对各个出射光强信号进行采集，将其线性地转化为电矢量信号，完成检测。此法的优势在于，可快速进行激光偏振态的动态监测。

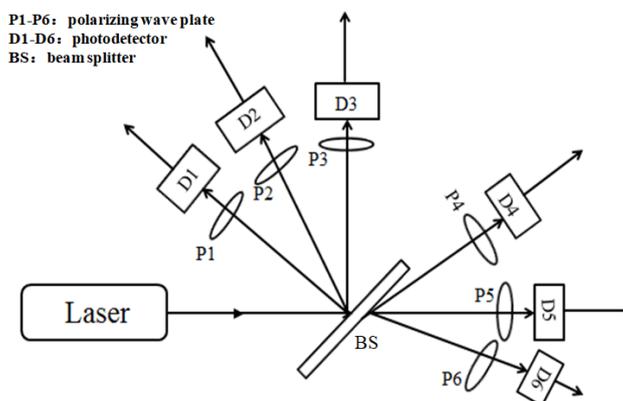


Fig.1 Schematic diagram of division-of-amplitude method

3 检测系统设计

3.1 测量系统构造

在此测量系统中，使待测光束通过各类光学元件，获得三组两角度互相垂直的出射光束组合（分别为 0° 与 90° 、 30° 与 120° 、 45° 与 135° ）。规定入射光振动方向为 0° ，图

2 为测量系统光路图，令入射待测光经过三个路径：1) 分光棱镜(BS)。射入偏振分光棱镜(PBS)，入射光束经过该棱镜分成与原振动方向平行与垂直的两束光束，从而获得在 0° 与 90° 方向振动的出射光束；2) 使经 1) 中 BS 分出的反射光经过 $\lambda/2$ 波片，转动 $\lambda/2$ 波片角度至 30° ，使入射待测光的振动角度由 0° 转动至 30° ，然后射入 PBS，入射光束经过该棱镜分成与原振动方向平行与垂直的两束光束^[13]，由此获得在 30° 与 120° 振动的出射光束；3) 使经 2) 中 BS 分出的透射光再次经过一个 BS，然后令两束分光分别射入透振方向为 45° 与 135° 的偏振片，由此获得在 45° 与 135° 振动的出射光束。基于图 2 所示光路图搭建了整套测量装置，如图 3 所示。

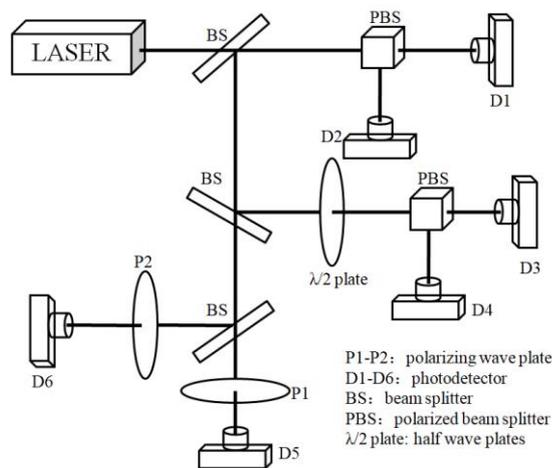


Fig.2 Optical path of detection system

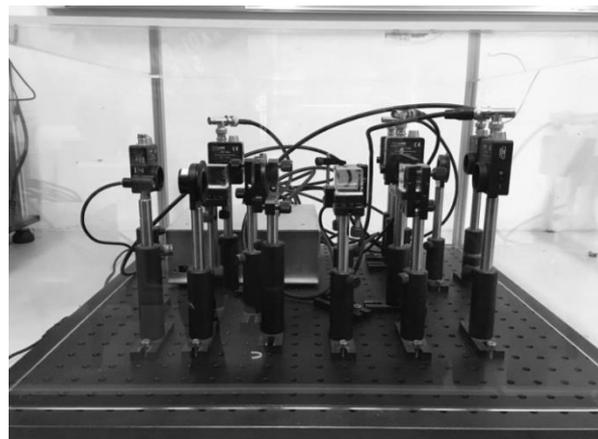


Fig.3 Appearance of detection system

3.2 激光偏振检测采集与 LABVIEW 处理系统

通过检测系统形成的 6 束分光进入探测器中，探测器与通过 USB 接口和 PC 端连接的采集卡相连，将采集得到的模拟信号转换为电矢量数字信号传输至计算机，按图 4(a) 所示程

序框图操作方法，在 LABVIEW 软件中自主编写程序，通过调用函数 MADContinueV12，在通道 10~15 对数据进行采集^[14]，数据经程序面板输入模块进行输入，然后执行画图命令，将采集获得的 6 束分光光强功率值转化为电矢量信号，按数值大小在面板中显示，并关于 0° ~ 180° 水平线做对称，分别在 sin0°、sin30°、sin45°、sin90°、sin120°、sin135°、sin180°、sin210°、sin225°、sin270°、sin300°、sin315° 方向将数值标出，得到检测结果图像，完成整套采集处理，测量结果显示面板如图 4 (b)。

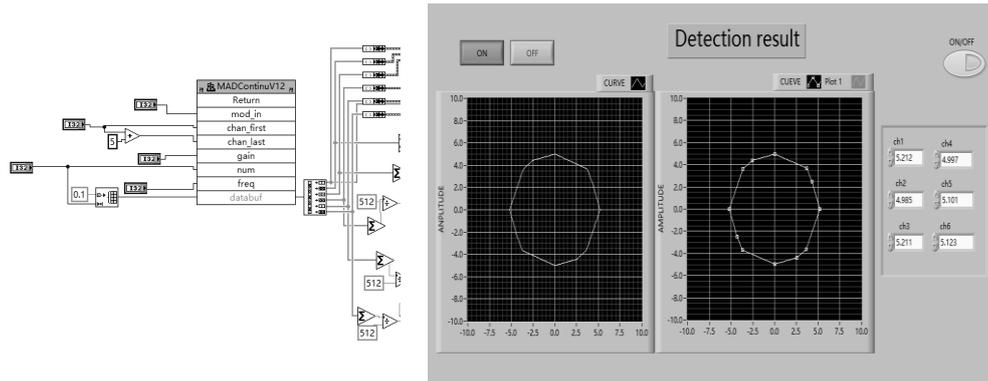


Fig.4 (a) Flowchart of Labview program; (b) Panel of detection result

4 结果标准值与检测

4.1 结果标准值

为更好地进行激光偏振态的相关检测，在对测量结果的图像进行处理时做出以下规定：

1) 利用分振幅法获得 6 个不同角度振动的出射光束后，需在同一时刻对其光强功率值进行探测；2) 因图形各边长度为正值，故对所有探测数据取绝对值；3) ω 为入射光束偏振方向与检偏器偏振方向的夹角，0° ~ 180° 水平轴为基准线，自 0° 起逆时针方向旋转一周，确定各个角度 ω 分布位置；4) 为更精细地显示出测量情况，将探测到的光信号转化为电矢量信号后，数值等比例缩小，图像标识测量点数值与实际测量值之比为 1/10。

基于上述规定，以线偏振光为例，考虑任意一束线偏振光在此坐标系中以任意角度 θ 振动入射，则由 Malus 定律^[15]，不同角度 ω 透射光的强度（不考虑吸收）可表示为

$$I(\omega) = I \cos^2(\theta - \omega), \quad (1)$$

式中 I 为入射光束光强， ω 取 0°、30°、45°、90°、120°、135°，则

$$\begin{aligned}
I(\omega = 0^\circ) &= I \cos^2 \theta \\
I(\omega = 30^\circ) &= I \cos^2(\theta - 30) \\
I(\omega = 45^\circ) &= I \cos^2(\theta - 45) \\
I(\omega = 90^\circ) &= I \cos^2(\theta - 90) \\
I(\omega = 120^\circ) &= I \cos^2(\theta - 120) \\
I(\omega = 135^\circ) &= I \cos^2(\theta - 135)
\end{aligned}
\tag{2}$$

θ 不论取何值，总有

$$I(\omega) + I \cos(90^\circ + \omega) = I \tag{3}$$

即在垂直的两个角度上，分振幅光强值之和为固定值，三组出射光束组合均符合此结论。将光信号转化为电矢量信号，并按角度分布标注于上述规定坐标系中（ $\omega=180^\circ$ 、 210° 、 225° 、 270° 、 300° 、 325° 时取值分别与 $\omega=0^\circ$ 、 30° 、 45° 、 90° 、 120° 、 135° 相等），由此可获得结果图像。

4.2 线偏振光测量情况

线偏振光入射光束光强 $I = 10 \text{ mW}$ ，振动方向为 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，其电矢量理论模拟与实际测量结果如图 5 所示。

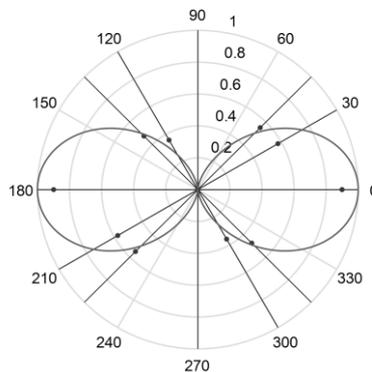


Fig.5 Measurement result of linearly polarized light

4.3 圆偏振光测量情况

在线偏振光检测成功的基础上进行了圆偏振光的检测。获取圆偏振光的方法为：令两束振动方向垂直、振动相位差为 $\pi/2$ 的线偏振光合成一束圆偏振光（不考虑左旋或右旋），其电矢量运动轨迹理论模拟与实际测量结果如图 6 所示。

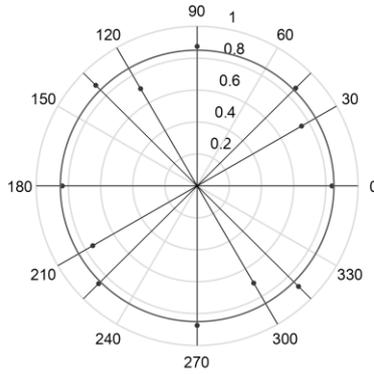


Fig.6 Measurement result of circular polarized light

4.4 椭圆偏振光测量情况

在圆偏振光检测基础上推广到普遍情况，进行了椭圆偏振光的检测。其电矢量理论模拟与实际测量结果如图 7 所示。

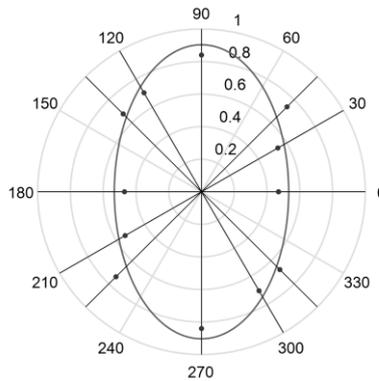


Fig.7 Measurement result of elliptical polarized light

4.5 测量结果讨论

如上所述，分别利用偏振分光棱镜、 $\lambda/2$ 波片与偏振分光棱镜、偏振波片与偏振分光棱镜改变光束偏振振动方向，可获得与入射待测偏振光成 6 个不同角度振动的出射光束，利用 Labview 自主化控制可以较好地进行偏振态检测。发现同一种类偏振光虽具体形状不完全相同，但总具有相似结构。由此，在获取上述基准图像后，即可确定任一入射光束偏振种类。这一结论对任意角度振动的入射光束均成立。

5 结 论

实验研究了一种基于分振幅原理、利用 Labview 软件处理的激光偏振态动态检测系统。讨论了利用分振幅法对入射光束进行分光的偏振态检测方法，发现利用偏振分光棱镜、 $\lambda/2$ 波片、偏振波片等光学元件，可以形成三组内部两角度互相垂直的出射光束组合，实现同一

时刻检测的要求, 消除了转动调制检测过程所需的时间差。利用此检测系统, 经过图像绘制可直观地观测结果, 与此同时, 当瞬时光束的偏振参量发生变化时, 也能即时追踪测量, 满足了光源动态变化条件下的测量要求。在此基础上提出, 在考虑材料削弱光强度、探测精确数量级等系统误差影响时, 为了更好地检测光源偏振态, 可继续在光路中应用分振幅法分出大于三组的若干组光束, 形成更多测量角度组合, 以达到更高的检测精确度。

参考文献

- [1] Liao Yanbiao. *Polarization Optics* (偏振光学) [M]. Beijing: Science Press, 2003: 45-46 (in Chinese).
- [2] Tang Xinchun, Gao Jiancun, Wang Kun, *et al.* Generation of a radially polarized light and its applications[J]. *Laser and Optoelectronics Progress* (激光与光电子学进展), 2013, 50: 030001 (in Chinese).
- [3] Wang Zhenhua, Li Jinsong. The generation of a radially polarized beam and its applications in the modern optics[J]. *Laser Journal* (激光杂志), 2009, 30 (1) : 8-10 (in Chinese).
- [4] Xu Qiang, Miao Runcai, Zhang Yani. Polarization properties of polymer photonic crystal fiber with hexagonal lattice elliptical air-holes[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics* (量子电子学报), 2012, 29(1): 114-119 (in Chinese).
- [5] Zhou Zehai, Zhu Lianqing. Measurement method of polarization state of vector beams based on Stokes parameters[J]. *Laser & Infrared* (激光与红外), 2016, 46(6): 742-743 (in Chinese).
- [6] Chen Weibin, Gu Peifu. Using Stokes vector express polarized light and application[J]. *Optical Instruments* (光学仪器), 2004, 26 (2) : 42-45 (in Chinese).
- [7] Song Zhiping, Hong Jin, Qiao Yanli. Study on the measurement principle of stokes elements spectral based on intensity modulation[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*(量子电子学报), 2009, 26(03): 268-271 (in Chinese).
- [8] Du Xiliang, Dai Jingmin. New grating-based division-of amplitude photopolarimeter[J]. *Opto-Electronic Engineering* (光电工程), 2006, 33 (7) : 57-62 (in Chinese).
- [9] Zhang Zenan. An experimental apparatus to measure polarization of light[J]. *Research and Exploration in Laboratory* (实验室研究与探索), 2001, 20 (4) : 81-83 (in Chinese).
- [10] Zhong Dongzhou, Wang Yuqing. Manipulation of laser polarization based on the linear electro-optic effect with quasi-phase matching[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*(量

子电子学报), 2015, 32 (5): 555-562 (in Chinese).

[11] Zhou Muchun, ChenYanru, Zhaoqi, *et al.* Study on dynamic detection of polarization states in laser guidance[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument* (仪器仪表学报), 2005, 8: 1890-1892 (in Chinese).

[12] Zeng Aijun, WangXiangchao, DongZuoren, *et al.* Application of photoelastic modulator in modulation of polarization direction[J]. *Chinese Journal of Lasers* (中国激光), 2005, 32 (8) : 1063-1067 (in Chinese).

[13] Xue Le, Nie Min. Quantum signaling purified scheme based on two stage polarizing beam splitters [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronic* (量子电子学报), 2013, 30(5): 566-571 (in Chinese).

[14] Ji Eryou, Gu Guohua, Bai Lianfa, *et al.* Three-channel polarization imaging systems and system error correction method[J]. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2014, 43(7): 0111002 (in Chinese).

[15] Yao Qijun. *Optical Tutorial* (光学教程) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1989: 329-341 (in Chinese).